

Einordnung

Im Rahmen der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) erfolgt eine Einstufung von Gebieten in eine von vier Kategorien („A“ bis „D“), wobei Kategorie A die bestgeeignetsten Gebiete enthält. Zentrale Elemente der Einstufung sind vier Prüfschritte: (1) Zielgerichtete Prüfung von Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen, (2) Qualitative Bewertung des sicheren Einschlusses, (3) **Quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses** und (4) Sicherheitsgerichteter Diskurs. Die quantitative Bewertung prüft die regulatorischen Vorgaben (Grenzwerte) für den **Massen- und Stoffmengenausstrag** der Radionuklide.

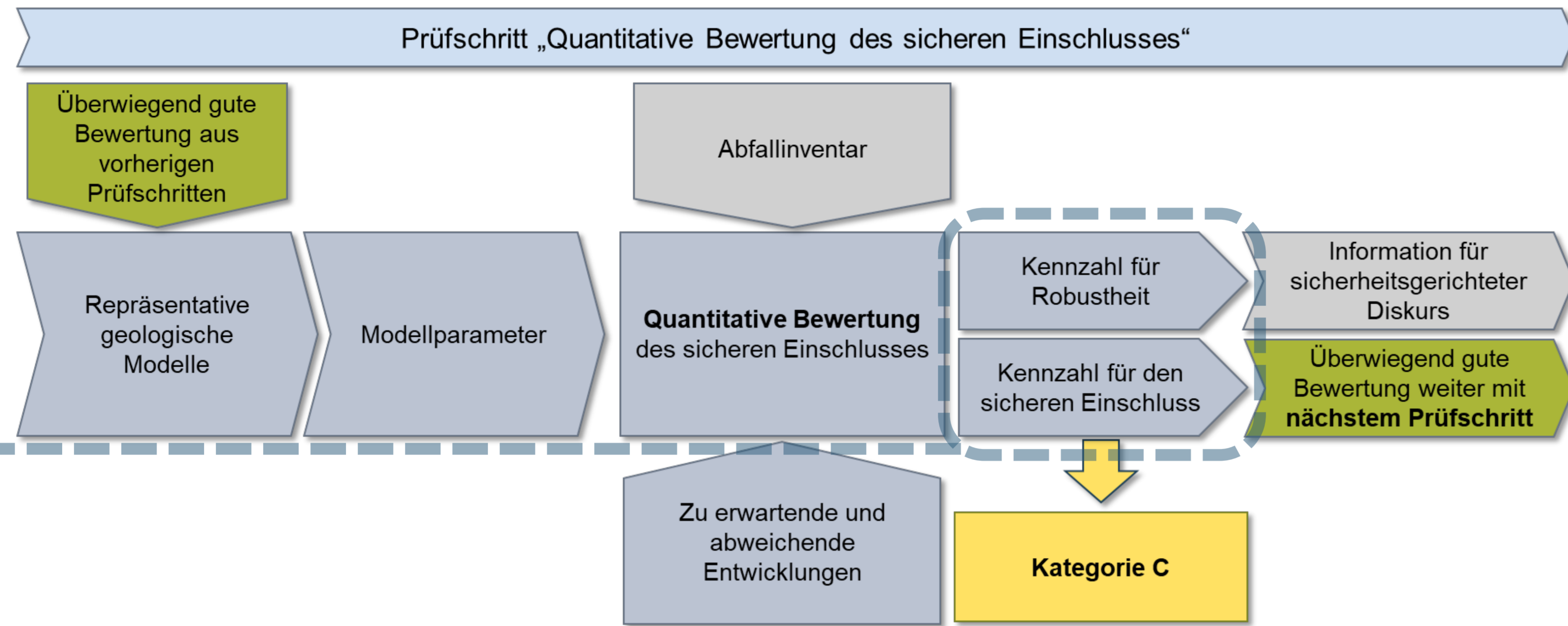


Abb. 1: Schematischer Überblick über den Prüfschritt der „Quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses“ als Teil der Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (nach BGE (2022a))

Im Prüfschritt der „Quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses“ (s. Abb. 1) erfolgt anhand von berechneten Kennzahlen eine Einordnung, ob innerhalb der betrachteten Gebiete der sichere Einschluss der Radionuklide potentiell gewährleistet werden kann.

Die Notwendigkeit dieses Prüfschritts resultiert aus der gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV) zu untersuchenden „Aspekte e)“ und „f)“ (§ 7 Abs. 6 Nr. 3 EndlSiUntV):

- „Aspekt e)“: Möglichkeit zur Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
- „Aspekt f)“: Möglichkeit des sicheren Einschlusses der Radionuklide für zu erwartende Entwicklungen (mit Verweis auf die Massen- und Stoffmengengrenzwerte)

Regulatorische Vorgaben für den Massen- und Stoffmengenausstrag

- Grenzwerte für den **Massen- und Stoffmengenausstrag** für zu erwartende Entwicklungen nach EndlSiAnfV:
 - Insgesamt höchstens ein Anteil von 10^{-4}
 - Jährlich höchstens ein Anteil von 10^{-9}
 } sowohl der **Masse** als auch der **Anzahl** der Atome aller ursprünglich eingelagerten Radionuklide
- Berücksichtigung radioaktiver Zerfallsprodukte
- Betrachtung des Bereichs der „wesentlichen Barrieren“ (einschlusswirksamer Gebirgsbereich oder im Spezialfall des kristallinen Wirtsgesteins ggf. technische/geotechnische Barrieren)

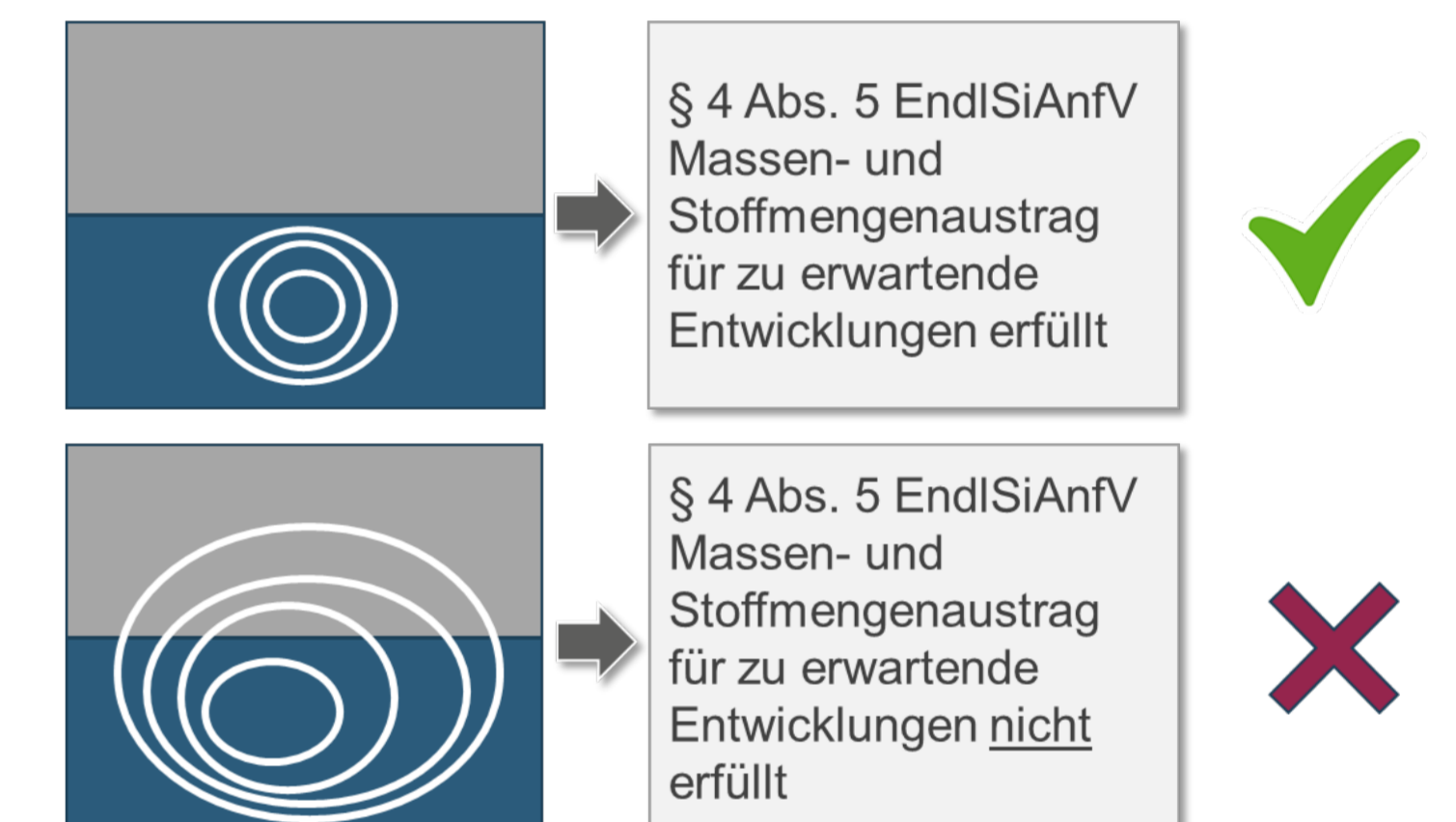


Abb. 2: Vereinfachte Illustration der Grenzwerte für den Massen- und Stoffmengenausstrag für zu erwartende Entwicklungen nach Endlagersicherheitsanforderungsverordnung (EndlSiAnfV)

Methode für die quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses

Überblick über die Herangehensweise

- Aufbau von 1D-Transportmodellen auf Basis repräsentativer geologischer Profile
- Parametrisierung der Transportmodelle (lithologisch tiefendifferenziert, nuklidspezifisch)
- Transportsimulationen mittels des eigens entwickelten Modells **TransPyREnd** (Transportmodell in Python für Radionuklide aus einem Endlager; vgl. BGE (2022b))
- Ergebnis der Modellierung ist u. a. eine berechnete Transportlänge der Radionuklide nach einer Million Jahren
- Parameterungewissheiten werden durch multiple Rechenläufe und Szenariungewissheiten durch multiple Rechenfälle (und Rechenläufe) abgebildet

Zugrundeliegende Transportgleichung

$$\phi R_i \frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{e,i} \frac{\partial c_i}{\partial x} - q c_i \right) + \sum_j \phi c_i R_i \lambda_{j,i} - \phi c_i R_i \Lambda_i$$

i - Index einer Spezies, j - Index der anderen Spezies, $\lambda_{j,i}$ - Zerfallsrate von Nuklid j zu i (s^{-1}), Λ - Gesamtzerfallsrate von Nuklid i (s^{-1}), q - Darcy-Geschwindigkeit ($m s^{-1}$), ϕ - Porosität (-), c - Konzentration ($mol m^{-3}$)

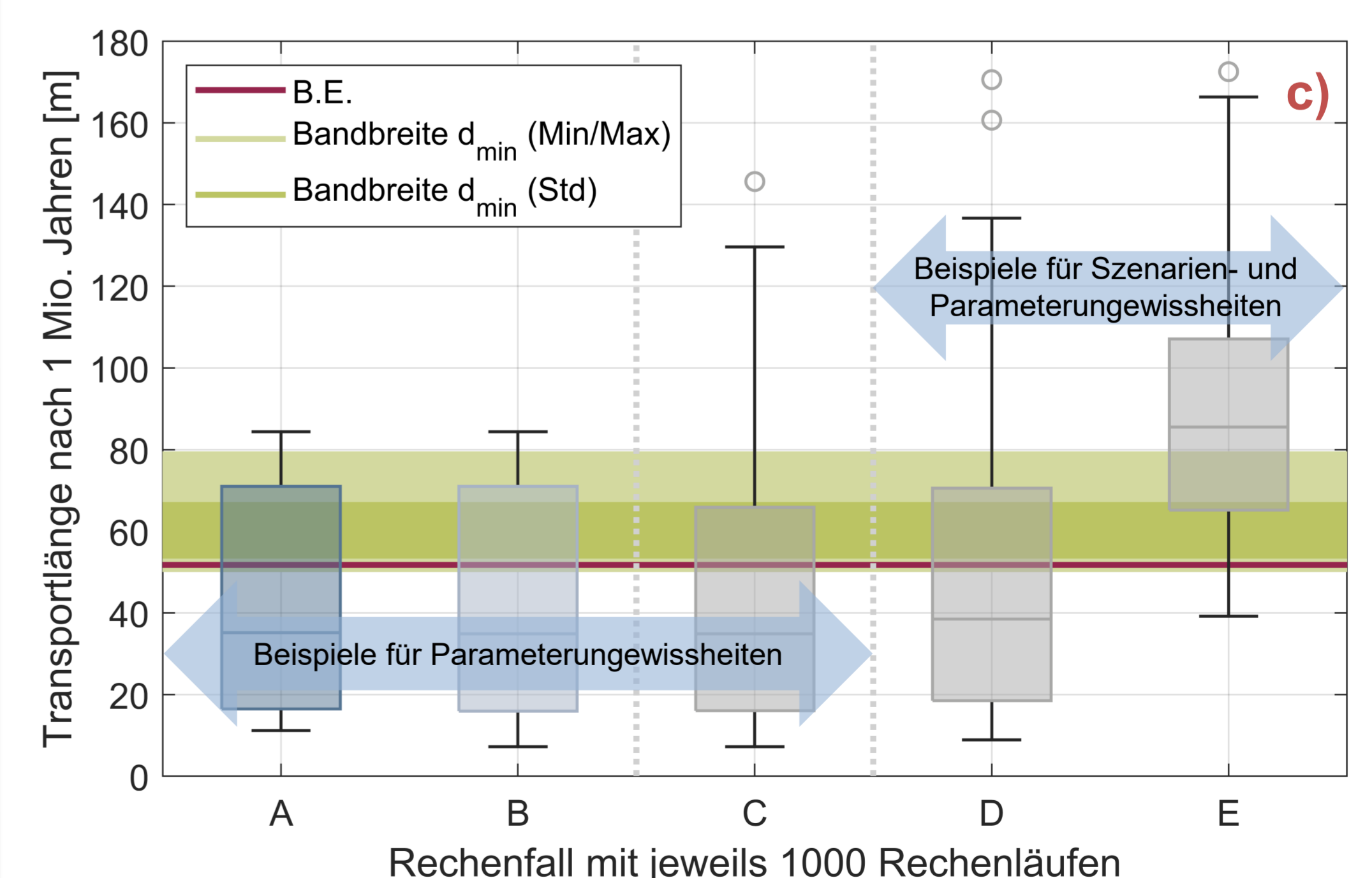
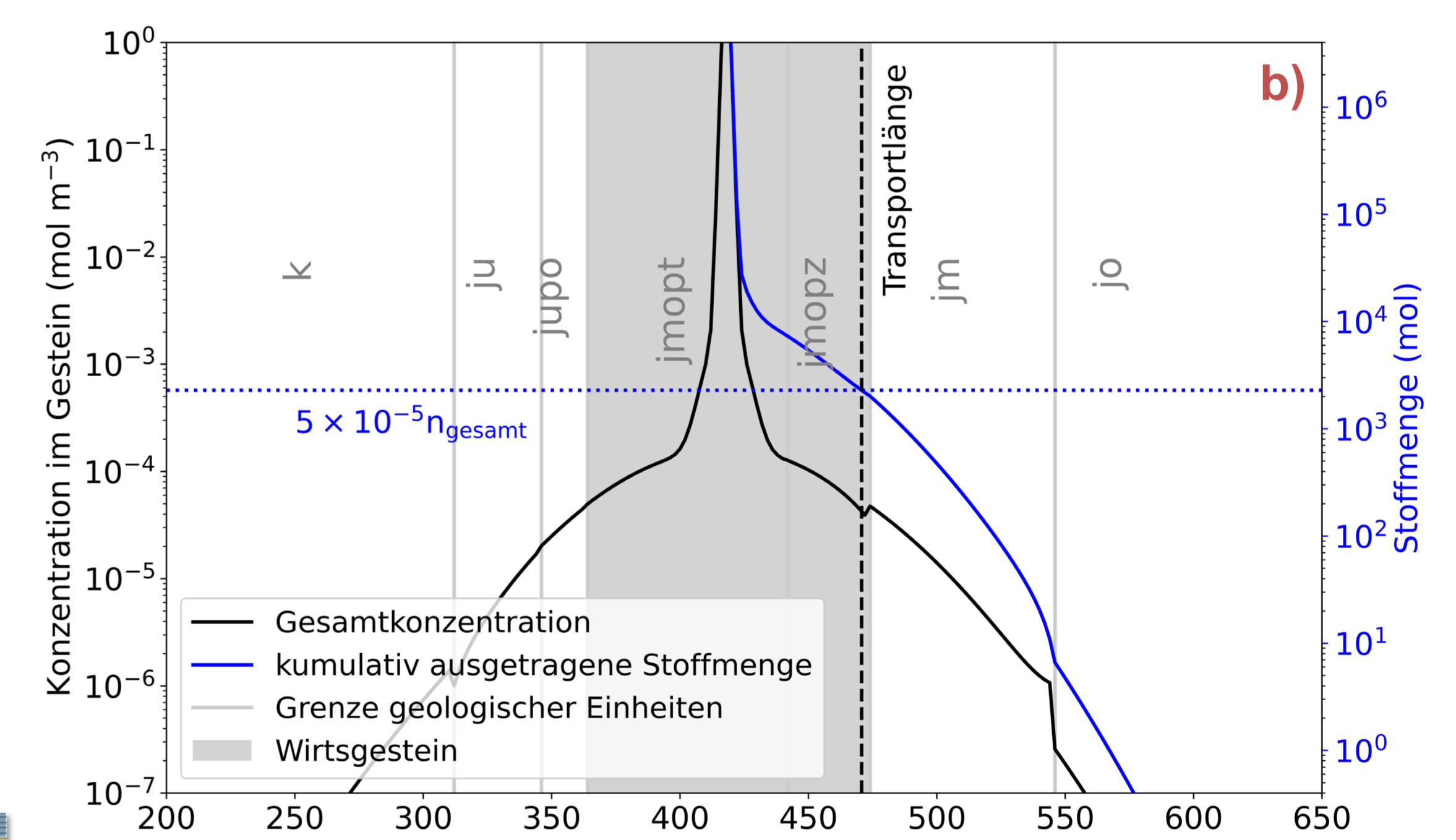
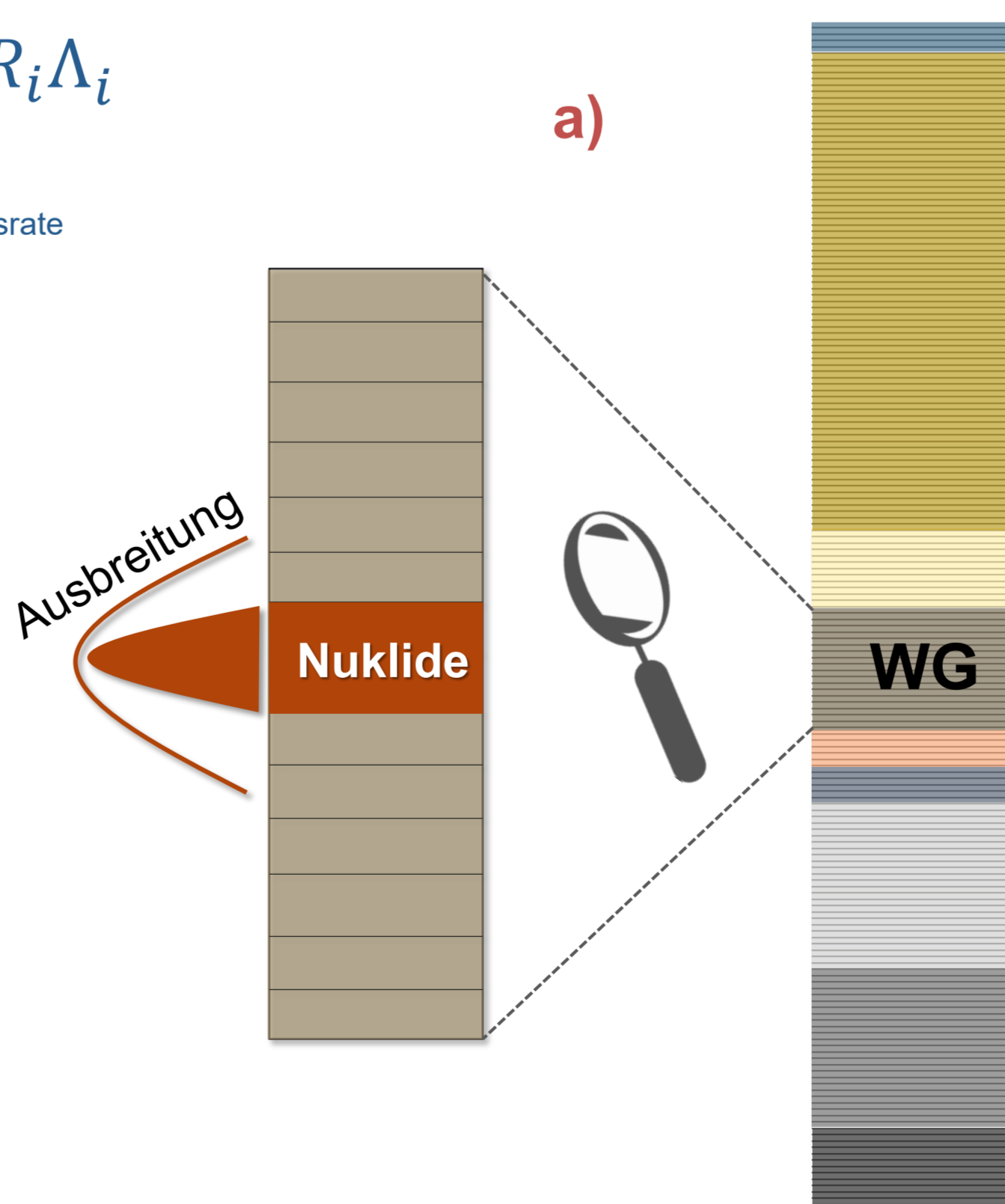
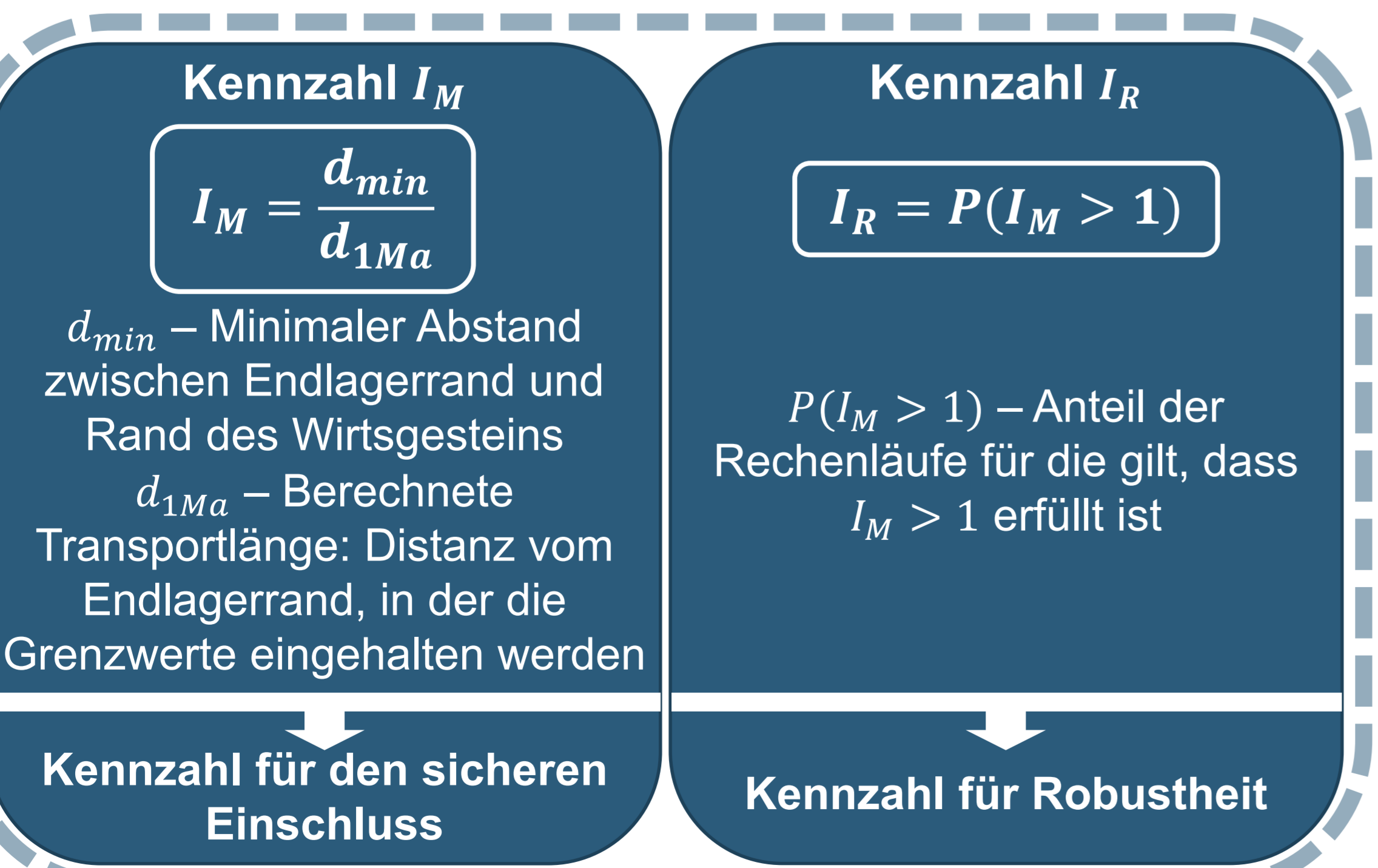


Abb. 3: a) Schematische Darstellung des Vorgehens bei der Berechnung des Radionuklidaustrags anhand eines repräsentativen Profils. b) Exemplarische Darstellung zur Berechnung der Transportlänge anhand der modellierten kumulativen Stoffmenge nach einer Million Jahren. c) Box-Whisker-Plots von fünf exemplarischen Rechenfällen mit jeweils 1000 Rechenläufen zur Abschätzung der Parameterungewissheiten (B.E. = Rechenfall mit realistisch eingeschätzten Parametern). Darstellungen nach BGE (2022b).